# 異なる形式の供試体を用いたゴム支承の温度依存性に関する実験的研究

Experimental study about the temperature dependency of rubber bearing using different types of specimen

北見工業大学	正会員(	〕齊藤剛彦	(Takehiko Saito)	住友理工(株)	正会員	中村保之	(Yasuyuki Nakamura)
北見工業大学	学生会員	入江駿亮	(Shunsuke Irie)	北見工業大学	正会員	宮森保紀	(Yasunori Miyamori)
北見工業大学	正会員	山崎智之	(Yomoyuki Yamazaki)	住友理工(株)	正会員	竹ノ内浩祐	(Kosuke Takenouchi)

# 1. はじめに

ゴム支承は、1995年兵庫県南部地震以降急速に普及 し、橋梁の耐震性能を左右する重要な役割を担っている. このうち、免震ゴム支承では、使用されるゴム材料の剛 性やせん断特性には温度依存性があり、特に高減衰ゴム 支承は天然積層ゴム支承と比べると温度依存性が大きい ことが知られている<sup>1)</sup>.このため、寒冷地域でゴム支承 を用いる場合には、架橋地域の温度影響に対する性能が 評価された材料を用いる必要がある<sup>2)</sup>.さらに、支承の 選定では、架橋地点の外気温に対応した支承内部温度に おける、支承の特性を把握することが望ましい.また、

道路橋支承便覧<sup>3)</sup>では新しい支承の適用のための試験項 目として,温度依存性試験が挙げられており,使用環境 の温度域における性能変化を確認しておくことは重要で あるとされている.特に,北海道などの寒冷地での適用 のためには前述のように低温環境下での特性を把握する ことは重要である.

このような、低温環境下でのゴム支承の力学的特性を 確認するためには、ゴム支承供試体に対する載荷試験が 行われている.このとき、載荷装置も所定温度にして供 試体が外気温の影響を受けない恒温室内で載荷試験をす ることが求められている<sup>4)</sup>.一方、低温環境下で支承供 試体を載荷試験ができる施設は限られており、より試験 しやすい方法の確立も課題である.

そこで、本研究では低温室内に設置した載荷装置を用 いて、2 種類の高減衰ゴム支承と天然積層ゴム支承に対 して、特に低温環境下に対する温度依存性に着目して支 承供試体の載荷実験を行い、それらの繰り返し載荷に対 する力学的特性について検討を行う.また、ラップシェ ア試験片で同様の評価実験を行い、支承供試体での結果 と比較する.

## 2. 温度依存性確認実験

### (1) 実験概要

載荷実験は文献 4)の方法に準じて,北見工業大学社 会連携推進センターの低温室にある載荷装置(図-1,2) で実施した.

温度依存性確認実験に用いる供試体はすべて住友理工 株式会社製で、ゴム材料の異なる2種類の高減衰ゴム支 承「HDR-S」と「HDReX」と、天然積層ゴム支承 「NR」の3種類を使用する.供試体を図-3に、供試体 諸元を表-1にそれぞれ示す.

実験条件を表-2 に示す. 温度は 23℃, -10℃, -20℃, -30℃の 4 つとし, 加振方法は振動数 0.5Hz の正弦波で







図-2 載荷装置

完全両振り,繰り返し回数 11 回 (NR のみ 4 回) で行う. また, せん断ひずみは 175%とし, 面圧は 6MPa とする.

ゴム支承の力学的特性の評価方法として,実験より得られた水平変位-水平力の履歴曲線から等価剛性,等価 減衰定数を以下の式でそれぞれ算出する.

$$K_B = \frac{F_{\text{max}} - F_{\text{min}}}{u_{\text{max}} - u_{\text{min}}} \tag{1}$$

$$h_B = \frac{\Delta W}{2\pi W} \tag{2}$$

ここで、 $K_B$ は等価剛性、 $F_{max}$ は最大水平力、 $F_{min}$ は最小 水平力、 $u_{max}$ は最大水平変位、 $u_{min}$ は最小水平変位、 $h_B$ は等価減衰定数、 $\Delta W$ はエネルギー吸収量で履歴曲線 の面積、Wは弾性エネルギーである.なお、本研究で は等価剛性、等価減衰定数は絶対バネの考え方を用いる. 上記の値の算出は、NR では 3 サイクル目、高減衰ゴ



図-3 温度依存性実験の供試体

表-1 温度依存性実験の供試体	5諸元
-----------------	-----

插桁	呼び	平面	ゴム	形状	係数	
个里天只	G	寸法	厚	<b>S</b> 1	S2	
ND	G8			6.07	9 10	
INK	G12			0.07	8.10	
	G8	170mm	7mm	6.07	<u>8 10</u>	
прк-2	G12	×	×	0.07	0.10	
	G8	170mm	3層			
HDReX	G10			6.07	8.10	
	G12					

<b>化</b> 乙 >>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>							
種類	せん断	<b>雷田</b> /三川 由	面圧	波形	加振	せん断	加振
	弾性係数	分囲风価度			振動数	ひずみ	回数
ND	G8	23°C→-10°C	6MDa	正弦波	0.5Hz	±175%	4 回
INK	G12	$\rightarrow$ -20°C $\rightarrow$ -30°C	olviPa				
HDR-S	G8	23°C→-10°C	6MDa	正弦波	0.5Hz	±175%	11 回
	G12	$\rightarrow$ -20°C $\rightarrow$ -30°C	OIVIF a				
	G8	$22^{\circ}$ $10^{\circ}$					
HDReX	G10	$23 \ \bigcirc \rightarrow -10 \ \bigcirc \rightarrow 20^{\circ} \ \bigcirc \rightarrow 30^{\circ} \ \rightarrow 30^$	6MPa	正弦波	0.5Hz	±175%	11 回
	G12	/-20 C -/-30 C					

表-2	温度依存性実験の載荷条件
X 2	

ム支承では5サイクル目の実験結果で行う.

本実験では 23℃での実験を載荷履歴のないバージン 状態で行い,同じ供試体で-10℃,-20℃,-30℃と順に行 う.そのため,実験回数の違いによる影響を補正する必 要がある.その履歴補正は 23℃で専用の供試体で複数 回実験し,等価剛性,等価減衰定数の変化率の近似関数 を求め,実験回数に応じて補正を行う.ただし,比較の ため,HDR-S と HDReX は-10℃~-30℃で,バージン状 態の供試体を用意し,バージン載荷を行っている.NR は G8 の-20℃のみバージン載荷を行っている.同じ供 試体で複数回実験するときは,実験後,24 時間以上空 けて,供試体の内部温度が雰囲気温度と一致するように している.また,温度を変えて実験するときは内部温度 確認用の供試体の内部温度が雰囲気温度に一致したこと を確認してから実験をしている.

以上,実験回数は 100 回で,これらに対応して 37 体の供試体を用いる.

### (2) 実験結果と考察

実験結果の一例として 23℃, -30℃におけるせん断弾 性係数 G8 の各ゴム供試体の履歴曲線を図-4,5に示す.

履歴曲線の形状について,NR は図-4(a),(b)より 23℃ よりも-30℃におけるエネルギー吸収量が大きい.HDR-S では図-4(c),(d)より,低温になることで1サイクル目 の最大荷重が約4倍になるとともに,2サイクル目以降 の荷重も大きくなっている.HDReX について図-4(e), (f)を比較するとHDR-S と同様の傾向だが,低温時の1 サイクル目および2サイクル目以降の荷重はHDR-S よ り小さくなっている.

次に,等価剛性,等価減衰定数の温度依存性を検討するため,図-5,6に供試体別に等価剛性,等価減衰定数の23℃に対する変化率を示す.併せて参考として文献5)で示された式を曲線で示す.

図-5 から、NR においては、供試体を-30℃の実験室 内に静置する期間によって等価剛性が大きく異なったた め、静置期間を 19 日間、4 日間、-30℃到達直後と変化 させて実験を行った. なお、常温の測定室から-30℃の 実験室に供試体を移して供試体内部の温度が-30℃に達 するまで約5時間であった. NR において-30℃での静置 期間が長いと等価剛性がかなり大きくなっているが、こ れはゴムの結晶化<sup>3)</sup>が原因であると考えられ、静置期間 を短くすると-10℃、-20℃での傾向と同様になった.

HDR-S は NR と比べると等価剛性の変化率が大きく なっている. -10℃から変化率が大きくなることから HDR-S は低温になるとゴムが硬化しやすいと考える.

HDReX についても他の供試体と同様に温度が下がる につれて剛性が増加するが,-30℃での変化率が HDR-S より小さく,結晶化が進んでいない NR と同等である.

各供試体の G8 で 23℃と-30℃での等価剛性の変化率 は、NR は 164%, HDR-S は 221%, HDReX は 174%と なった. このように、低温環境下での等価剛性の変化率 は文献 5)の式のような曲線の傾向があり、温度依存性 は HDR-S が最も高く、次いで HDReX, 最も低いのは NR という結果になった. 文献 2)では 30℃での等価剛性 を 1 としたときの変化率が 1.5 を超える場合はその力学 的特性の変化を考慮した照査が必要とされている.本研

# 平成29年度 土木学会北海道支部 論文報告集 第74号



究の結果のうち、例えば-30℃ではこの基準に当てはま ると考えられ、低温環境下による影響を考慮する必要が ある。

なお、せん断弾性係数による各供試体の等価剛性の変 化率の傾向は大きな差がない.また HDR-S、HDReX の -30℃での静置期間は供試体によって 1~2 週間の差があ るが、NR の結晶化のような等価剛性の大きな違いは見 られない.

等価減衰定数は,図-6 より NR では低温になると大 きくなっている.これは NR はもともとエネルギー吸収 量が小さいため HDR-S, HDReX に比べ変化率が大きい と考えられる. HDR-S と HDReX では変化率が小さい. さらに, HDReX では文献 5)の式のような曲線の傾向は 見られない.また,NR では G8 の方が変化率が大きい.

### 3. スケール効果確認実験

供試体の大きさの違いによる影響を検討するため,□ 120,□240の供試体を用いてスケール効果確認実験を 行う.

スケール効果確認実験は HDReX, NR の 2 種類を使 用する.また,面圧は載荷装置の性能の都合上,3MPa とした.その他の条件は温度依存性実験と同じである.

スケール効果について、図-7(a)から等価剛性に変化 率の傾向は供試体の種類によらず同等だったが、図-



図-7 スケール効果確認実験の結果

7(b)から等価減衰定数はばらつきがあった.ただし, NR の変化率の違いについては,□240 での実験で供試 体の載荷装置への取り付けの際,トルクが十分でなく, 加振中に治具と載荷装置でずれが大きくなったためと考 えられる.以上の結果,スケール効果について今回検討 した範囲では影響ないと考えている.

# 4. ラップシェア試験片での実験

#### (1) 実験概要

支承の供試体による載荷試験より, 簡易的な試験でゴ ム支承の特性を評価することができるかを検討するため, ラップシェア試験片で実験を行い,支承供試体での結果 と比較する.

試験片を図-8 に示す. ゴム部分のサイズは 20mm× 25mm の角型, 厚さ 4mm で 1 つの試験片に 4 枚使用す る. ゴム種は住友理工株式会社製 HDR-S, HDReX, NR の G12 を用いる.

ラップシェア試験片での実験は住友理工株式会社の試 験機で行った.実験温度は23℃,-10℃,-20℃,-30℃ である.試験片の冷却時間は概ね所定の温度になる5時 間とし,実験手順は,試験機と試験片を別々に所定の温 度にしたあと,試験機に試験片を取り付ける.その後, 10分程度所定の温度で保管した後,載荷する.

加振方法は振動数 0.5Hz の正弦波で完全両振り,繰り 返し回数 11 回 (NR のみ 4 回) で行う.また,せん断 ひずみは 175%とする.

温度依存性について, NR は 3 波目, 高減衰ゴムは 5 波目で等価剛性, 等価減衰定数を算出し, 23℃での値を 1 とした変化率で評価する. 各ゴム種で試験片 4 体作成 し, 個体差を補正している.

(2) 実験結果と供試体による実験との比較

図-9 に等価剛性,図-10 に等価減衰定数の変化率をゴ ム種別にそれぞれ示す.試験片での結果と、□170 供試 体での結果を重ねている.これらの結果から、ゴム種に よって多少ばらつきはあるものの、等価剛性、等価減衰 定数の両方で、-10℃、-20℃では供試体での結果と概ね 一致している.しかし、-30℃では試験片での変化率が 小さくなっている.

今回用いた実験装置では、試験片は概ね5時間程度で 所定の温度になるが、-30℃の場合、試験片が実際に -30℃になるまでに16時間を要する.また、試験機と試 験片を別々に所定の温度にしてから、試験機に試験片を 取り付けるが、その作業に時間を要するため、その間に 試験機や試験片の温度が-30℃よりも上昇している可能 性がある.したがって、-30℃の試験では試験片の内部 温度が高い可能性があり、そのために-30℃での変化率 が供試体の実験より小さくなったと考えられる.以上の とおり、実験中の内部温度の管理が重要と考えている.

### 5. まとめ

2 種類の高減衰ゴム支承と, 天然積層ゴム支承に対し, 実験室ごと低温にすることによって実験開始時の供試体 の温度を低温に保った状態で載荷実験を行った.繰り返 し載荷実験の結果,等価剛性の変化率は HDR-S が一番 高く, HDReX と NR は同じか, HDReX の方が若干高く なった.また,長期間-30℃に静置した NR の結晶化な ど低温下特有の現象も確認した.

ラップシェア試験片による実験の結果,-20℃までで は等価剛性,等価減衰定数の変化率が供試体での結果と 概ね一致した.-30℃では変化率が小さくなった.この 理由は試験片の内部温度の違いであると考えており,今 後,試験片の内部温度の測定や内部温度を管理しながら の試験を行うことで,試験片でも代用できる可能性はあ る.



謝辞:本研究を遂行するにあたり,北見工業大学大学院 博士後期課程 Zhang Youqi 氏,博士前期課程小川大智氏 に実験を手伝っていただきました.記して感謝の意を表 します.

参考文献

- 日本ゴム協会 免震用積層ゴム委員会:設計者の ための免震用積層ゴムハンドブック,2000.
- 2) 北海道土木技術会:北海道における鋼道路橋の設 計および施工指針[第1編]設計・施工編,2012.
- 3) 日本道路協会:道路橋支承便覧,丸善,2004.
- 北海道土木技術会:北海道における鋼道路橋の設計および施工指針[第2編]維持管理編[第3編]資料編,2012.
- 北海道土木技術会:北海道における鋼道路橋の設計および施工指針の改定 (2014 年 10 月 22 日), http://www.koudourokyo.net/news/403/(2017 年 4 月 2 日閲覧).